

Terra. Vol. XVI, N° 25, 2000, pp. 81-97.

**ASPECTOS GEOGRÁFICOS RELACIONADOS CON UN
PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA:
LA MALARIA EN EL ESTADO SUCRE**

Laura Delgado*
Luis Gamboa L.**
Napoleón León***

RESUMEN

El contexto espacial de las áreas donde se desarrollan enfermedades transmitidas por vectores puede obtenerse de la geografía, desde la delimitación de las áreas de influencia con base en elementos geográficos naturales hasta la consideración del problema de escala y de aquellas variables que tienen posibilidad de extraerse o interpretarse de los mapas. A partir de una cobertura espacial del estado Sucre, Venezuela, a escala de 1:100.000 se desarrolló un Sistema de Información Geográfica (SIG) que incluyó: i) una cobertura de los centros poblados con el número de casos anuales de malaria desde 1986 hasta 1999; ii) una base de datos ambientales de precipitación, temperatura y humedad relativa; iii) una base cartográfica digital derivada de la topografía con hidrografía, vialidad y curvas de nivel equidistantes cada 40 m; iv) una base de datos del hábitat del vector

* Laboratorio de Sistemas de Información y Modelaje Ecológico y Ambiental, Instituto de Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Apartado 47058, Caracas 1041-A, Venezuela.

** Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, C.C. Los Chaguaramos, piso 5, Los Chaguaramos, Caracas, Venezuela.

*** Sección Ecología de Comunidades y Sistemas, Instituto de Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Apartado 47058, Caracas 1041-A, Venezuela.

Anopheles aquasalis con la ubicación de criaderos, tipos de vegetación asociada, parámetros fisicoquímicos y otros parámetros ambientales; y v) las coberturas resultantes del modelo digital del terreno, elevación y pendiente. El análisis espacial permitió elaborar el modelo de distribución de probabilidades de riesgo malárico, con base en el número de casos de malaria, por año estudiado, y su relación con elementos de la ecología de paisajes como altura, pendiente, ubicación de centros poblados y vialidad. El empleo de modelos generados por la integración de información geoespacial y ecológica en un SIG contribuye a solucionar problemas sociales de salud pública.

Palabras clave: vectores, elementos geográficos, SIG, riesgo malárico, ecología de paisajes.

ABSTRACT

Spatial context of areas with vector-borne disease is might be obtained from geography, including demarcation of disease influence areas based on natural geographical elements, as much as considerations of scales and others variables suitable to extraction or interpretation from mapping. A GIS (Geographical Information System) was developed from a spatial number of layers of the Sucre State, Venezuela (1: 100,000) that included: i) a human settlement cover with malaria annual occurrence from 1986 to 1999; ii) an environmental database with precipitation, temperature, and relative humidity data; iii) a digital cartographic database derived from topography that included hydrography, road systems, and contour lines every 40 m; iv) a habitat database for the vector *Anopheles aquasalis* that included breeding sites location, associated vegetation types, physical, chemical, and environmental parameters; and v) the resulting layers of the digital terrain model, elevation, and slope map. A model of malaria probability risk distribution was generate from spatial analysis, based on annual number occurrences and associated landscape ecology elements, such as altitude, slope, inhabited areas, and road systems. The use of generated models integrating geospatial and ecological information in GIS may contribute to solve public health-related social problems.

Key words: vectors, geographic feature, GIS, malaric risk, landscape ecology.

INTRODUCCIÓN

La reemergencia a nivel mundial de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores, que se creían controladas y en términos más radicales erradicadas, por ejemplo la malaria, ha puesto en evidencia a los agotados modelos de salud que se venían manejando. La búsqueda de nuevos modelos implica que estas enfermedades endémicas deben ser consideradas sistemas complejos en donde hay una multiplicidad de factores que la caracterizan y la condicionan a un área geográfica determinada.

En Venezuela, enfrentamos serios problemas en salud pública, no sólo malaria sino dengue, leishmaniasis, oncocercosis, etc. La preocupación por la reaparición de estas enfermedades, en particular el paludismo o malaria, comienza a incrementarse a finales de 1983 (González-Boscán, 1986). Tres focos maláricos endémicos, el occidental, el sur y el nororiental, se conocen en nuestro país, y este último foco comprende los Estados Delta Amacuro y Sucre, siendo el Estado Sucre el objeto de nuestro estudio

El aporte de información relevante sobre el contexto espacial de áreas donde se desarrollan algunas enfermedades, se logra a través de la geografía, en particular de la geografía médica. Esto va desde la delimitación de las áreas de influencia en base a elementos geográficos naturales, hasta la consideración del problema de escala y de aquellas variables que tienen posibilidad de extraerse o interpretarse de los mapas. Muchos investigadores han contribuido con información sobre las interacciones de las enfermedades y su entorno geográfico, así lo muestran González-Boscan (1974, 1986, y 1995), Rodríguez Dellán (1974), Natera (1987), Esparragoza (1993), Martínez y Salas (1999), Millan y Freitas (2000), Valladares y Puerta (2001). Por otra parte, la ecología de paisaje como enfoque sistémico de estudio ha planteado una nueva perspectiva, ya que este enfoque considera la importancia tanto de los elementos geográficos como de los patrones de distribución y la estructura espacial de las expresiones de vida y de los recursos naturales en los estudios ecológicos, así como los patrones antropogénicos. Una

primera aplicación de este enfoque en los estudios epidemiológicos fue presentada por Beck y col. (1994), donde se estableció una correspondencia entre el riesgo de transmisión malárica y los elementos del paisaje. Con este mismo enfoque, Martínez (2000); Martínez y Delgado (2000); Delgado y col. (2000); Delgado y col. (2001) usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) determinan elementos del paisaje asociados a la dinámica de la malaria en los Estados Amazonas y Sucre.

La problemática de la malaria es tal e involucra tantas variables que para el modelaje de la situación se hace necesario grandes volúmenes de información, provenientes de diferentes fuentes y en diferentes formatos. El análisis de esta cantidad de información no puede hacerse de manera tradicional, sólo la avanzada tecnología como los SIG permite el manejo y la integración de la misma. Delgado y col. (1994) presentaron uno de los primeros trabajos sobre los factores que condicionaban la malaria en la zona noroeste del Estado Sucre y propusieron un modelo predictivo, modificado del modelo predictivo de Wood y col. (1989), de la transmisión malárica. Recientemente, Delgado y col. (2000) muestran como las nuevas tecnologías permiten la detección de variables asociadas a la presencia de la malaria y su vector *Anopheles aquasalis* en el Estado Sucre

En el presente trabajo se muestra como la integración de información geográfica obtenida de manera tradicional y con tecnologías modernas permite evidenciar la relación de variables ambientales con la presencia de la malaria en el Golfo de Paria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra en la parte nororiental de Venezuela, correspondiente a la región oriental del país, específicamente en el Estado Sucre.

Se ubica en la Península de Paria, en su vertiente sur entre los paralelos 10°27'00'' y 10°42'31'' N y los meridianos 62°32'00'' y 63°11'00'' W (Fig.1).

Límites del área

El área limita por el norte con la vertiente norte de la Península de Paria, por el sur con parte del Golfo de Paria y el Caño Ajíes, por el este con el Cerro el Naranjal y el poblado de Campo Claro y por el oeste con las primeras estribaciones de la Serranía de Paria que se encuentran en el Municipio Arismendi, donde se destacan fundamentalmente las poblaciones de Río Caribe y El Rincón. Desde un punto de vista político-administrativo abarca parte de los Municipios Arismendi, Cajigal y Mariño. Esta área de estudio ocupa una superficie de 1078 km².

Características geográficas o elementos geográficos

El área está comprendida entre 0 y 800 m de altitud sobre el nivel del mar (msnm). Caracterizado por un relieve de colinas bajas, medias y altas, una llanura fluvio-marina conformada por una serie de planicies de inundación, fundamentalmente las Sabanas de Venturini, Bajos de Guayana y Bajos de Guaraúnos. Estas unidades de relieve presentan pendientes entre 0 y 40%. Con estos elementos podemos definir unidades de paisajes, distinguiéndose áreas planas o llanuras con pendientes entre 0-2% y 2- 6% y una altura promedio entre 0 y 200 msnm y sistemas de colinas con alturas entre 100 y 600 m y pendientes entre 10-20%.

Esta área se caracteriza geológicamente por encontrarse sobre las formaciones Macuro, del cretáceo (K) y una cuaternaria (Q) conformada por la formación Güiría del pleistoceno y una reciente (Q).

Con respecto al clima, es un área de alta precipitación media entre 1000 y 1800 mm, distribuida de la siguiente manera: desde Irapa hasta Yaguaraparo la precipitación se concentra entre 1000-1200 mm y de allí hasta la población de Guayana entre 1200-1400 mm, desde

Guayana hasta el Pilar hay un núcleo pluviométrico que concentra más de 1800 mm de precipitación promedio.

La temperatura oscila entre 25°C-27°C promedio anual. La humedad relativa varía entre 80% en época seca a 90% en época húmeda. Según la zonificación agroclimática (MARNR, 1989) se observan dos tipos climáticos afectando el área de estudio, según Thorntwaite en función del Índice Hídrico, (IH), entre 0.1-20, “subhúmedo húmedo-cálido” (C₂C) sur de la Península de Paria hacia el Golfo y “subhúmedo-templado-cálido” (C₂T¹) cercano al piedemonte de la Serranía de Paria.

La hidrografía del área se encuentra conformada por una serie de cuencas que drenan de norte a Sur, unas directamente al Golfo de Paria como son: la del Río Yaguaraparo, Caño Aruca, Río Grande, Río Chiquito y el Irapa y otras cuencas hacia la llanura fluvio marina, originado áreas sujetas a inundación, generando grandes humedales. El drenaje más importante en esta zona corresponde a Caño Ajíes, receptor de los ríos Agua Blanca, Bohordal, Tunapuy y de la quebrada Catuaro.

La característica ambiental más resaltante de estas zonas son los humedales, áreas inundables estacionales o permanentes entre 0 y 100 msnm que resultan de la acumulación y retención de agua de lluvia y de drenaje superficial.

Desde un punto de vista de la administración y gerencia de la salud, esta zona se encuentra identificada como la demarcación sanitaria A. La importancia de esta demarcación sanitaria reside en el hecho de que aporta el mayor número de casos de malaria al total de casos de todo el estado.

Datos espaciales

La delimitación del área de estudio a través de elementos geográficos naturales se hizo con base a la interpretación de la base de datos topográficos de Venezuela a escala 1:100.000 proveniente del Servicio Autónomo de

Geografía y Cartografía Nacional de Venezuela, Ministerio de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). Sin embargo, es importante resaltar que parte de la caracterización geográfica del área se realizó con base en la interpretación del estudio de zonificación agroclimática del Estado Sucre (MARNR, 1989) a escala 1:500.000.

La base topográfica 1:100.000 se pasó a formato digital y se generaron capas de información para la construcción de un SIG.

Todos los datos se estandarizaron para uniformar las diversas fuentes de información. Para llevar los datos, a un mismo sistema de proyección, las coberturas vectoriales se ajustaron mediante cálculo de coordenadas al sistema de proyección UTM, zona 20, utilizando el datum La Canoa y el esferoide, New International 1909, también conocido como el elipsoide internacional de Hayford.

La base de datos atributales referentes a los casos y variables relacionadas a la incidencia malárica de los años 1986-1999 fue procesada en MS Excel para Windows 95, versión 7.0, con los casos totales anuales por poblado. Fue necesario revisar y verificar la toponimia, Gacetilla de Nombres Geográficos del Estado Sucre de 1997, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), en el Nomenclador del Estado Sucre utilizado para el censo de 1990, de la Oficina Central de Estadística e Informática (OCEI), y las notas del protocolo de campo.

Modelo digital de terreno

Se tomaron puntos de control en tríadas de coordenadas X, Y, Z para generar, a partir de las curvas de nivel de las cartas topográficas 1:100.000, el modelo digital del terreno (MDT) con un tamaño de celda de 100 m y se usó el algoritmo de interpolación de 5° orden. Este modelo fue generado con una aplicación de análisis de modelos numéricos del terreno desarrollada por North Wood Geoscience para MapInfo/Vertical Mapper.

Construcción del modelo espacial de la incidencia de la malaria o de riesgo.

La generación de superficies de riesgo malárico sobre la base del número de casos para cada año estudiado se realizó con el software PCMS (Zmap), versión 2.1.1, desarrollado por Zyper, que utiliza un algoritmo basado en los mínimos cuadrados. La distancia de los nodos de la malla fue de 500 m y no se aplicó ningún tipo de suavizado a la superficie. El radio de búsqueda de los datos fue de 10 km, valor que se asigna en función del área de influencia del mosquito. A partir de estas superficies se generaron las curvas representativas del número de casos para cada año estudiado y esto permitió la visualización del modelo espacial de la incidencia de la malaria en todo el estado. Todos estos datos fueron exportados posteriormente al software ArcInfo, versión 3.04 y visualizados en ArcView, versión 2.0, ambos para PC y desarrollados por ESRI.

Trabajo de campo

En el campo se verificó la información extraída de la interpretación de la cartografía básica, para ello se recorrió todo el estado en una primera salida. En posteriores visitas al estado, se intensificó el trabajo sobre la Península de Paria dada su importancia epidemiológica y se procedió a la localización de los criaderos del vector de la malaria *Anopheles aquasalis*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron las siguientes coberturas vectoriales: hidrología, vialidad, curvas de nivel, número de casos de malaria por poblado, representados como una superficie proporcional al número de casos de malaria anuales, centros poblados, pendiente y altura.

El aporte de los elementos geográficos extraídos de manera tradicional a partir de los mapas 1:100.000, como ubicación de los

centros poblados, hidrografía, vialidad, topografía, ha sido clave en el proceso de análisis e interpretación de los productos generados con tecnologías modernas como los Modelo Digital del Terreno (MDT), procesamiento digital de imágenes y con las integradoras de información como son los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Igualmente, la información climática obtenida como precipitación, temperatura y el valor agregado de los Índices Hídricos, según Thorntwaite, ha sido vital para establecer interrelaciones entre elementos geográficos y distribución, persistencia y ciclo de vida del vector. Ya que la alta temperatura registrada en el área y la alta humedad relativa aceleran el ciclo de vida del vector *An. aquasalis* y prolongan su tiempo de vida. Así mismo, el IH con valores entre 0.1 y 20 muestra un exceso de humedad, lo cual es un buen indicador de la posibilidad de formación de humedales correlacionado con los elementos geográficos de baja pendiente y baja altitud.

Es importante resaltar que, sea cual sea la metodología que se use tanto la tradicional como la moderna, la experiencia de los investigadores marcará la diferencia en cuanto a la calidad de los productos resultantes.

La construcción del MDT, a partir de las curvas de nivel, permitió obtener la información sobre los elementos geográficos altura y pendiente.

La representación espacial de la incidencia malárica (el modelo), alrededor de los poblados donde se registraron los casos permitió observar una coincidencia entre las zonas de desarrollo poblacional y los ejes viales que facilitan tales desarrollos (Fig. 2). Este mapa temático muestra el modelo espacial de la incidencia de la malaria para el año 1998, nótese la intensidad de la endemia en las zonas aledañas al eje vial El Pilar-Yaguaraparo-Irapa.

Al sobreponer el modelo espacial de la incidencia de la malaria para el año 1997 y la cobertura de alturas, producto de la generación del MDT, se observa que la mayoría de los casos coinciden con áreas

de poca altura sobre el nivel del mar por debajo de la cota de los 100 m, hay unidades geográficas en el orden de 33,2% entre 0 y 50 msnm y 7,59% de unidades entre 50 y 100 msnm (Fig. 3). Haciendo el mismo análisis espacial con el modelo y la cobertura de pendiente, observamos que hay coincidencia entre el número de casos de malaria y zonas de bajas pendiente hay 29,75% de unidades geográficas con pendientes entre 0 y 2% y 5,8% de unidades entre 2 y 5% de pendiente (Fig. 4). El modelo evidencia la importancia de la Península de Paria como una región de asentamientos humanos con la mayor densidad de casos maláricos. Esta área reúne las condiciones de altitud (entre 0 y 50 msnm) y pendiente (entre 0 y 2% de pendiente) ideales para la presencia de humedales (Fig. 5). Estos resultados son similares a los obtenidos por Delgado y col. (2001), ya que ellos encuentran en su análisis regional (1:500.000) de la dinámica de la malaria, 42 % de unidades geográficas que cumplen esta doble condición, poca altura y baja pendiente. Con la verificación de campo realizada en la zona de Paria, donde los casos de malaria han alcanzado cifras elevadas, se observó que contiene extensos humedales manejados y naturales, los cuales fueron identificados durante este trabajo de campo como criaderos positivos de *An. aquasalis*.

CONCLUSIONES

- 1- Hay una relación entre la distribución de los focos maláricos y algunas variables ambientales.
- 2- El Índice Hídrico, (C_2/C_1) “sub-húmedo húmedo-calido” sur de la Península de Paria hacia el Golfo y (C_2/T_1) “sub-húmedo-templado-cálido” cercano al piedemonte de la Serranía de Paria actúan como indicadores de presencia humedales (criaderos).
- 3- Las altas temperaturas y la alta humedad relativa de la zona contribuyen a la persistencia del vector en el área de estudio.

- 4- Un alto porcentaje de unidades geográficas de baja pendiente y topografía de baja altitud definen unidades de paisajes propicias para la formación de humedales y por ende para la generación de criaderos del vector.
- 5- La integración de información geográfica, tanto obtenida de manera tradicional como usando la derivada de la tecnología actual, en un SIG, constituye una poderosa herramienta para el estudio de problemas de salud pública.
- 6- Para el éxito del manejo de los problemas de salud pública se requiere de la integración de equipos de investigadores de diferentes disciplinas.

BIBLIOGRAFÍA

- Beck L. R., M. H. Rodríguez, S. W. Dister, A. D. Rodríguez, E. Rejmankova, A. Ulloa, R. A. Meza, D. R. Roberts, J. F. París, M. A. Spanner, R. K. Washino, C. Hacker y L. J. Legters. 1994. *Remote sensing as a landscape epidemiologic tool to identify villages at high risk for malaria transmission*. Am. J. Trop. Med. Hyg. 54(3): 271-280.
- Delgado, L., S. Ramos y E. Gordon. 2000. Modelo Digital del Terreno y Procesamiento de Imágenes Digitales: Herramientas para la Detección de Variables Ambientales relacionadas con la Malaria en el Estado Sucre, Venezuela. IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, Puerto Iguazú, Misiones, *Memorias SELPER*, pp: 848-856.
- Delgado L., S. Ramos y R. Barrera. 1994. Determinación de las Variables que Condicionan la Malaria en el Estado Sucre: A través de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos. *Memorias Jornadas Informática, Tecnología y Sociedad* (Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela) pp : 24-37.
- Delgado, L., S. Ramos, Rodríguez, R. y Liberal, L. 2001. Modelo Espacial de la Probabilidad de Riesgo Malárico en el Edo. Sucre, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, Universidad Central de Venezuela. Vol. 16, N° 2. pp: 15-26.

HUMÁNITAS. Portal temático en Humanidades

92 Laura Delgado, Luis Gamboa L. y Napoleón León

- Esparragoza, F. 1993. Geografía Médica de la Leishmaniasis Tegumentaria Americana en el Municipio Andrés Eloy Blanco del Estado Lara. *Trabajo especial para obtener el título de Licenciado en Geografía*. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela.
- González, E. 1974. Interpretación Medio Físico-Malaria en la Región Zulia. *Trabajo especial para obtener el título de Licenciado en Geografía*. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela.
- González, E. 1986. Contribución a la Geografía Médica de la Región Zulia: El Caso Malaria. *Trabajo de Ascenso*. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela.
- González, E. 1995. Contribución a la Geografía Médica del Estado Sucre. Las Leishmaniasis Tegumentaria y Visceral Americanas. *Trabajo de Ascenso*. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela.
- Martínez, G. 2000. Estudio de la dinámica de la transmisión de la malaria en el Estado Amazonas. *Trabajo especial para obtener el título de Magíster Scientiarum*. Centro de Estudios del desarrollo (CENDES). Universidad Central de Venezuela.
- Martínez, G. y L. Delgado. 2000. Estudio de la Dinámica de la Transmisión de Malaria en el Estado Amazonas Mediante el Uso de Sistemas de Información Geográfica. IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, Puerto Iguazú, Misiones, Argentina, *Memorias SELPER*, pp:742-750.
- Martínez, O. y N., Salas. 1999. Estudio Geográfico del Dengue en el Municipio Autónomo Libertador, Distrito Federal, durante el Período 1994-1999. *Trabajo especial para obtenerle título de Licenciado en Geografía*. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela.
- Millán, A. y M, Freitas. 2000. Estudio Geográfico de la Malaria en el área Minera “El Callao” Municipio El Callao del Estado Bolívar, para el Período de 1994-1998. *Trabajo especial para obtener el título de Licenciado en Geografía*. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. (MARNR). 1989. Estudio zonificación agroclimática de los Estado Sucre y Monagas.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. (MARNR). Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. 1997. *Gacetilla de nombres geográficos del Estado Sucre*.

- Natera, C. 1987. Aporte a la Geografía Médica del Estado Bolívar: La estratificación de la Malaria. *Trabajo especial para obtener el título de Licenciado en Geografía*. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela.
- Oficina Central de Estadística e Informática (OCEI). 1990. Nomenclador del Estado Sucre.
- Puerta, A. y M., Valladares. 2001. Estudio Geográfico del Comportamiento del Cólera (*Vibrio cholera*) durante el Período 1996-1998: Propuesta de Control. Municipios Mara y Maracaibo. Estado Zulia. *Trabajo especial para obtener Licenciatura en Geografía*. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela.
- Rodríguez Dellán, E. 1974. Dinámica Geográfica de un Pueblo. Contribución al Estudio de la Evolución Urbana de Ortíz, Guárico. *Trabajo de Ascenso*. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela.
- Wood B. L., K. O. Pope y M. Rodríguez. 1989. Characterization and monitoring of disease vector habitats in Chiapas, Mexico. *III Simposio Latinoamericano sobre Sensores Remotos, Memoria SELPER* (Universidad Nacional Autónoma de México, México), pp: 49-52.

Agradecimientos

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) por su financiamiento al proyecto N° 03-31.3981.97, al Banco Mundial el financiamiento de la línea presupuestaria 021-044. Al Br. Manuel Ponce. Al personal de la zona 11 de Malariología (Fundasalud) Carúpano y al de las diferentes demarcaciones sanitarias por su apoyo, de manera especial al Ing. Darío González. Así como también, al personal del Instituto de Geografía y Desarrollo Regional, en particular al Geógrafo Néstor Martínez, quien colaboró en la generación del modelo digital del terreno y otros productos. Finalmente, al Lic. Jorge Zegarra por su ayuda en la traducción del abstract.

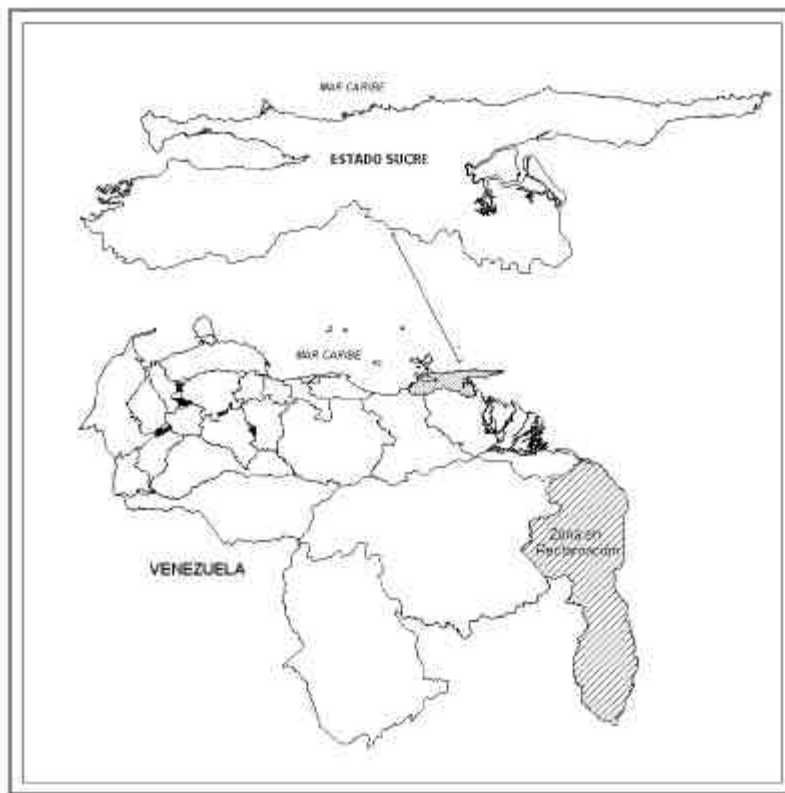
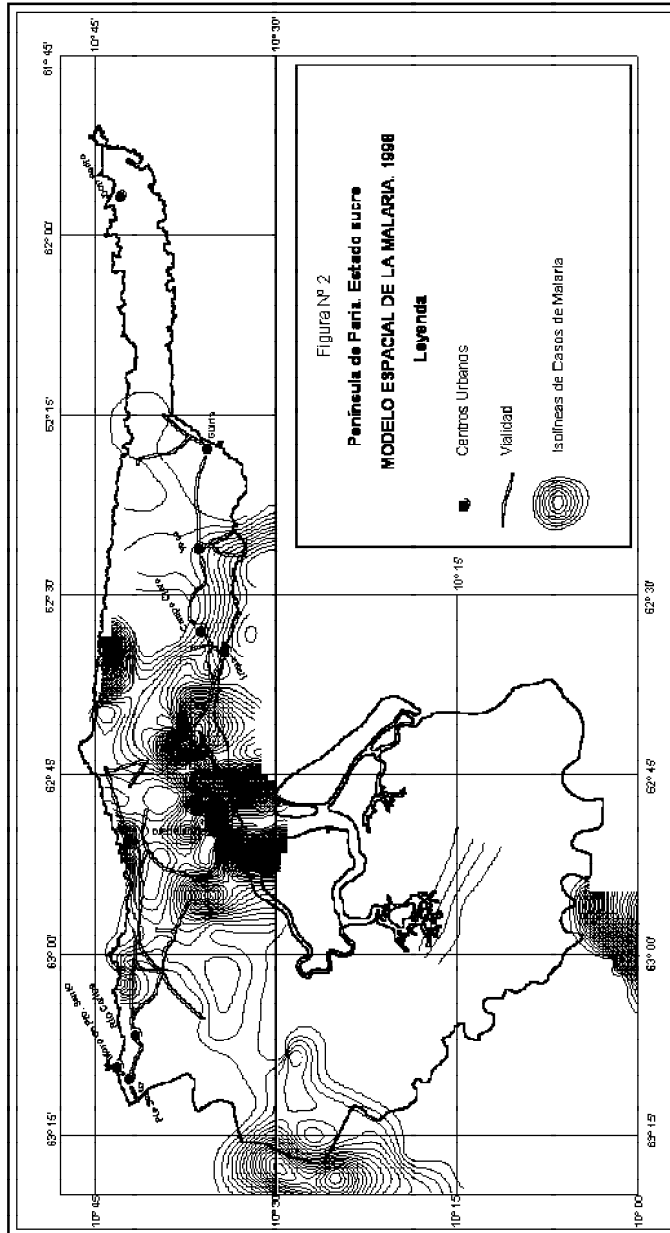
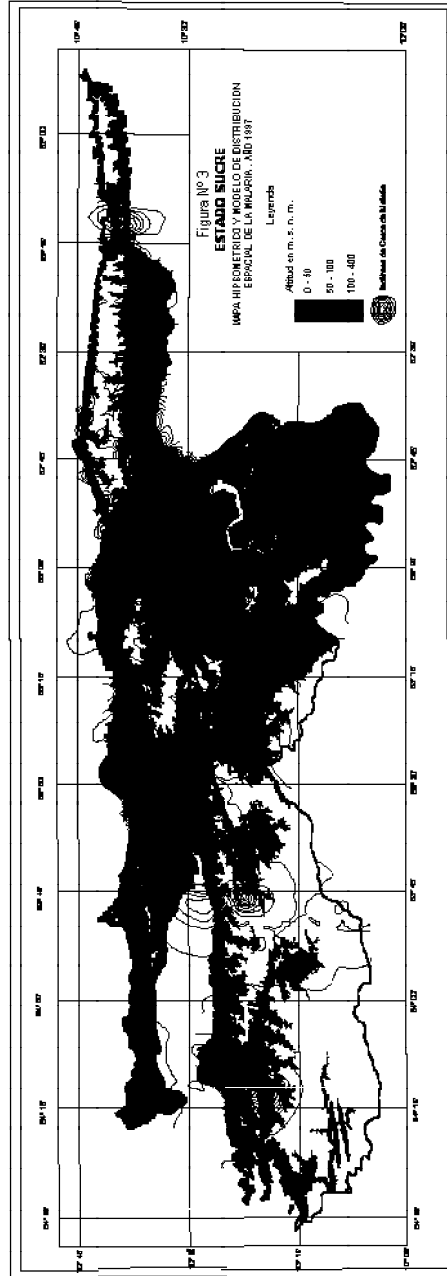


Figura N° 1 . Situación relativa del Estado Sucre

F i g u r a



F i g u r a



F i g u r a

